

Helmut Kraus

Die Atmosphäre der Erde

Eine Einführung
in die Meteorologie



Helmut Kraus

Die Atmosphäre der Erde

Eine Einführung in die Meteorologie

Mit 196 Abbildungen, 184 Übungsaufgaben
und einer farbigen Klimakarte der Erde

336/4099 INSTITUT
FÜR METEOROLOGIE U. KLIMATOLOGIE
UNIVERSITÄT HANNOVER
HERRENHÄUSER STR. 2 - 30419 HANNOVER



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	XI
I. Einige Grundlagen	
I.1 Erster Blick in die Atmosphäre	1
I.2 Die Skalendenweise	6
I.3 Die Teilgebiete der Meteorologie	12
I.4 Größen, Zahlenwerte, Einheiten	14
II. Die meteorologischen Elemente	17
II.1 Der Luftdruck	17
II.1.1 Zusammensetzung der Luft	17
II.1.2 Die allgemeine Gasgleichung	20
II.1.3 Das Daltonsche Gesetz	21
II.1.4 Die barometrische Höhenformel	22
II.1.5 Die Druckmessung	25
II.1.6 Die Luftdruckverteilung an der Erdoberfläche	28
II.2 Die Windgeschwindigkeit	32
II.2.1 Definition	32
II.2.2 Messung und Registrierung des Windes	34
II.2.3 Änderung von Größen mit den Feldkoordinaten	39
II.2.4 Der Transport einer spezifischen Eigenschaft	41
II.2.5 Die Begriffe Haushalt und Advektion	45
II.3 Die Temperatur	48
II.3.1 Erste thermodynamische Begriffe	48
II.3.2 Die Hauptsätze der Thermodynamik	50
II.3.3 Thermodynamische Potentiale und spezifische Wärme	57
II.3.4 Die Definition der Temperatur und ihrer Maßskalen	60
II.3.5 Die Temperaturänderung eines Luftteilchens bei Vertikalbewegungen	62
II.3.6 Haushalt und Flußdichten „fühlbarer Wärme“	65
II.3.7 Die Temperaturmessung	69
II.4 Die Luftfeuchtigkeit	77
II.4.1 Die verschiedenen Feuchtemaße	77
II.4.1.1 Der Dampfdruck e	77
II.4.1.2 Die absolute Feuchte a	87
II.4.1.3 Die spezifische Feuchte q	87
II.4.1.4 Das Mischungsverhältnis m	89
II.4.1.5 Die relative Feuchte f	89
II.4.1.6 Der Taupunkt τ	90
II.4.1.7 Die virtuelle Temperatur T_v	90

II.4.2	Der Wasserdampftransport	91
II.4.3	Temperatur- und Feuchtefelder nahe am Erdboden	94
	II.4.3.1 Die Energiebilanz an einer Oberfläche	94
	II.4.3.2 Beispiele	96
II.4.4	Die Feuchtemessung	101
	II.4.4.1 Das Psychrometer	101
	II.4.4.2 Andere Feuchte-Meßverfahren	105
II.5	Die Strahlung	107
II.5.1	Die Natur der meteorologisch wirksamen Strahlung	107
II.5.2	Die Strahlungsgesetze	110
	II.5.2.1 Nomenklatur von Strahlungsgrößen	110
	II.5.2.2 Das Plancksche Strahlungsgesetz	111
	II.5.2.3 Das Wiensche Verschiebungsgesetz	114
	II.5.2.4 Das Gesetz von Stefan-Boltzmann	116
	II.5.2.5 Das Kirchhoffsche Gesetz	118
II.5.3	Solare und terrestrische Strahlung	123
II.5.4	Phänomenologie der Strahlungsflußdichten	132
II.5.5	Optische Erscheinungen in der Atmosphäre	147
II.6	Der Aufbau der Atmosphäre	154
II.6.1	Der vertikale Aufbau	154
	II.6.1.1 Einteilung nach dem Temperaturverlauf	154
	II.6.1.2 Standard-Atmosphären	162
	II.6.1.3 Zusatzbemerkungen zur vertikalen Struktur der Troposphäre	163
II.6.2	Der horizontale Aufbau	166
III.	Thermodynamik und Wolken	175
III.1	Änderung meteorologischer Parameter bei adiabatischen Prozessen	175
III.1.1	Änderung der Feuchte beim trocken-adiabatischen Prozeß	175
III.1.2	Der sättigungs-adiabatische Temperaturgradient	178
III.2	Temperaturschichtung und Stabilität	184
III.2.1	Ursachen für Vertikalbewegungen	184
III.2.2	Stabilitätskriterien	189
III.2.3	Bemerkungen zur Genauigkeit	192
III.3	Beispiele zur Thermodynamik	194
III.4	Thermodynamische Diagrammpapiere	203
III.4.1	Das Stüve-Diagramm	203
III.4.2	Andere Diagrammpapiere	211

III.5 Phänomenologie	214
III.5.1 Wolken	214
III.5.2 Nebel	218
III.5.3 Niederschlag	227
III.5.3.1 Allgemeines	227
III.5.3.2 Hydrometeore	231
IV. Dynamik der Atmosphäre	235
IV.1 Kinematik	237
IV.1.1 Die Divergenz der Windgeschwindigkeit	237
IV.1.2 Rotation und Zirkulation	242
IV.1.3 Stromlinien und Trajektorien	251
IV.2 Die Bewegungsgleichung	259
IV.2.1 Die Newtonschen Axiome	259
IV.2.2 Die wirksamen Kräfte	260
IV.2.3 Die Navier-Stokes-Gleichung	270
IV.2.4 Skalenanalyse	272
IV.3 Zweidimensionale Windsysteme	276
IV.3.1 Eine einfache zweidimensionale Bewegungsgleichung	276
IV.3.2 Der geostrophische Wind	279
IV.3.3 Der Gradientwind	280
IV.3.4 Der zyklotropische Wind	284
IV.3.5 Der Trägheitskreis	286
IV.3.6 Der Einfluß der Reibung	291
V. Synoptische Meteorologie	299
V.1 Allgemeines zur Synoptik	299
V.1.1 Definition, wissenschaftliche und technische Grundlagen, Geschichte	299
V.1.2 Darstellung der synoptischen Felder	304
V.1.3 Thermische Verknüpfung von Boden- und Höhenwetterkarten	312
V.1.4 Barotrope und barokline Felder	319
V.2 Die synoptischen Systeme mittlerer Breiten	321
V.2.1 Phänomene in verschiedenen Skalen	321
V.2.2 Fronten	333
V.2.2.1 Begriffe, Skalen, Beobachtungen	333
V.2.2.2 Die Polarfront-Theorie	337
V.2.2.3 Übergang zur Feld-Theorie	343
V.2.2.4 Die Feld-Theorie	348
V.2.2.5 Fronten in unterschiedlichen Skalen	359

VI. Klimatologie	364
VI.1 Die Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre (AZA)	364
VI.1.1 Definition der AZA	364
VI.1.2 Grundlagen zum Verständnis der AZA	368
VI.1.2.1 Die differentielle Erwärmung des Systems Erde-Atmosphäre	368
VI.1.2.2 Die Erhaltung des Drehimpulses des Systems Erde-Atmosph.	372
VI.1.3 Die Flußdichten	379
VI.1.4 Konzeptionelles Bild der AZA	384
VI.1.5 Die Geschichte des Verständnisses der AZA	387
VI.2 Das bodennahe atmosphärische Klima	391
VI.2.1 Klimatabellen	397
VI.2.2 Klimadiagramme	405
VI.2.3 Klima-Atlanten	417
VI.2.4 Klima-Karten	417
VI.2.5 Bodennahe Klima-Änderungen	425
Anhang A: Energie und Leistung im Vergleich	431
Anhang B: Fragen und Übungen	434
Literaturverzeichnis	452
Sachwortverzeichnis	460